

На правах рукописи



ЕСКИН Алексей Александрович

**МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ
СТРУКТУР ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА
КАРБОНАТНЫХ ПОРОД И ФАКТОРЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО БОРТА МЕЛЕКЕССКОЙ ВПАДИНЫ
И ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНО-ТАТАРСКОГО СВОДА)**

Специальность 25.00.06 – литология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Казань – 2014

Работа выполнена на кафедре минералогии и литологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, зав. каф. минералогии и литологии ИГиНГТ КФУ, профессор Морозов Владимир Петрович

Официальные
оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, зав. каф. геологии и геохимии горючих ископаемых Саратовского государственного университета, профессор Коробов Александр Дмитриевич
кандидат геолого-минералогических наук, с.н.с. геологического факультета Московского государственного университета, доцент Седаева Куляш Мусабековна

Ведущая
организация: ФГУП Институт геологии и разработки горючих ископаемых (г. Москва)

Защита состоится «26» июня 2014 г. в 14-30 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.081.09 при Казанском федеральном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5, Институт геологии и нефтегазовых технологий КФУ, ауд. 211.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета. Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Казанского федерального университета (<http://kpfu.ru/>).

Ваш отзыв на автореферат просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский федеральный университет, отдел аттестации научно-педагогических кадров. Факс: (843) 2337867. E-mail: 1aotdel@kpfu.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А.Галеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Во многих работах (Смехов, Дорофеева, 1987; Кузнецов, 1992; Багринцева, 1999; Lucia, 1999; Einsele, 2000; Атлас структурных ..., 2005; Карбонатные породы ..., 2005 и др.) достаточно подробно приведена типизация структур пустотного пространства карбонатных пород. В них выделяют поры, каверны, трещины. Однако в подавляющем большинстве работ указываются лишь морфологические признаки различных пустот и не всегда убедительно доказывается их природа (генезис), факторы формирования, а также пространственная распространенность. Тогда как понимание природы тех или иных типов пустот, развитых в известняках и вторичных доломитах, позволит прогнозировать их развитие в определенных участках разрезов.

Хорошо известно, что карбонатные породы-коллекторы могут вмещать различные по физико-химическим свойствам нефти и даже битумы (Нефтегазоносность РТ, 2007). Однако проведенный анализ литературы не позволяет строго выявить причины присутствия в пределах залежей различных по составу нефтей (за исключением зон водонефтяных контактов), а также показать их связь с различными морфолого-генетическими типами структур пустотного пространства карбонатных пород.

Следует также сказать, что в литературе, посвященной изучению карбонатных пород, достаточно хорошо освещены представления о седиментационно-диагенетических доломитах и вторичных доломитах, сформированных за счет наложенных процессов. Однако на должном уровне не рассмотрен их типоморфизм, что позволило бы раскрыть природу плотных и пористых разностей этих пород. Последнее, на наш взгляд, возможно сделать, используя современные методы изучения их кристаллохимических особенностей.

Цель работы. На основании морфолого-генетической типизации структур пустотного пространства карбонатных пород (известняков и доломитов) выявить их пространственную приуроченность, факторы формирования и связи с составом вмещаемых флюидов.

Основные задачи исследования:

1. Изучение структур пустотного пространства карбонатных пород для проведения их морфолого-генетической типизации.
2. Определение пространственного распределения выявленных типов структур пустотного пространства в нефтяных залежах пластового и массивного типов.

3. Выявление связи типов структур пустотного пространства карбонатных пород и насыщающих их флюидов.

4. Установление факторов формирования различных типов структур пустотного пространства карбонатных пород с учетом состава вмещаемых флюидов.

5. Определение типоморфных признаков вторичных доломитов, имеющих конформную и неконформную структуры, для выявления причин их формирования.

Научная новизна:

1. Проведена морфолого-генетическая типизация структур пустотного пространства карбонатных пород изучаемого региона.

2. Показана связь типов структур пустотного пространства с составом вмещаемых флюидов для нефтяных залежей пластового и массивного типов.

3. Установлены факторы, контролирующие формирование выявленных типов структур пустотного пространства карбонатных пород. Ими служат определенные стадии геодинамического и геофлюидного развития региона.

4. Определены типоморфные признаки седиментационно-диагенетических и вторичных доломитов, образованных благодаря наложенным процессам. На их основе выявлены механизмы формирования плотных и пористых вторичных доломитов.

Практическая значимость:

1. Предложенная морфолого-генетическая типизация структур пустотного пространства карбонатных пород позволяет с учетом данных геофизического исследования скважин делать прогноз их распространенности по вскрытой бурением части разрезов.

2. Полученные данные по вертикальной распространенности типов структур пустотного пространства карбонатных пород и состава нефти в них позволяют разработать более оптимальные схемы разработки нефтяных залежей.

Защищаемые положения.

1. На основании изучения кернового материала карбонатных пород региона предложена морфолого-генетическая типизация структур их пустотного пространства. Выделены следующие типы: каверны селективного растворения (выщелачивания), каверны неселективного растворения, трещинки растворения, трещины тектонической разгрузки (растяжения). Определены их диагностические признаки, показана распространенность в разре-

зах нефтяных залежей пластового и массивного типов и выявлены факторы их формирования – геодинамический и геофлюидный.

2. В выделенных типах структур пустотного пространства обнаруживаются различные соотношения во флюиде нефти и воды, а также различный состав нефти. В ряду «каверны селективного растворения (выщелачивания) – каверны неселективного растворения – трещинки растворения – трещины тектонической разгрузки» доля тяжелых фракций углеводородов увеличивается, а легких, соответственно, уменьшается, увеличивается также соотношение вода/нефть. Причиной этому также является геодинамическая и геофлюидная эволюция бассейна породообразования.

3. Выявлен типоморфизм вторичных доломитов наложенной природы, позволяющий отличать их от седиментационных (седиментационно-диагенетических). Плотные и пористые разности вторичных доломитов также имеют определенные морфологические и кристаллохимические признаки, позволяющие установить условия их образования. Формирование плотных и пористых вторичных доломитов обусловлено соотношением привноса-выноса компонентов при преобразовании известняков.

Объектами исследования являлись карбонатные отложения турнейского, визейского и башкирского ярусов восточного борта Мелекесской впадины и западного склона Южно-Татарского свода, относящиеся к структурам первого порядка Волго-Уральской антеклизы. Изучены карбонатные породы семи месторождений нефти (Аделяковское, Аканское, Демкинское, Зюзеевское, Онбийское, Летнее, Тавельское). Керновый материал характеризовал 10 залежей, карбонатные породы которых отличались по коллекторским свойствам пород и составу вмещаемых флюидов. При выполнении работы использованы также данные ГИС, данные по физико-химическим свойствам флюидов, структурные карты. Каменный материал для исследования предоставлен ЗАО «ТАТЕХ», ОАО «НИИНефтепромхим», ЗАО «Предприятие Кара Алтын» и др.

Фактический материал и методы исследования. Работа базируется на изучении керна малых нефтяных месторождений Южно-Татарского свода и восточного борта Мелекесской впадины.

Изучен керновый материал более 20 скважин. Аналитическими методами исследовано более 400 образцов, проведен анализ более 400 шлифов, выполнено более 300 рентгенографических определений минерального состава образцов, более 300 определений петрофизических свойств образцов, более 100 определений состава вмещаемых нефтей методом термического

анализа, проведено исследование 23 образцов методом электронной микроскопии, более 50 образцов – методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), более 50 образцов остаточных нефтей – методом газожидкостной хроматографии, 10 образцов – методом рентгенофлуоресцентного анализа, 7 образцов – методом рентгеновской томографии.

Общая методика работы. В основу исследований положены работы, выполняемые в литологической лаборатории кафедры минералогии и литологии КФУ при непосредственном участии автора.

При изучении кернового материала, получении экспериментальных данных, обсуждении результатов автор стремился следовать историко-геологическому подходу, рассматривающему карбонатные толщи и вмещаемые флюиды как развивающиеся во времени и пространстве объекты. Последовательность же проведения исследований обосновывалась системным подходом, предусматривающим сначала получение общей характеристики, а затем более углубленное изучение объектов целесообразным комплексом современных методов исследования. Для анализа данных использовалась литогенетическая методика исследования осадочных образований, позволявшая надёжно отличать фоновый и наложенный типы литогенеза, а также положения о стадийности геодинамического и геофлюидного режимов развития осадочных бассейнов.

Достоверность результатов работы определяется большими объемами изученного кернового материала и выполненными аналитическими работами. Также детальным описанием образцов керна и шлифов с тщательным анализом седиментационных и постседиментационных структурно-текстурных особенностей пород и их минерального состава. Использованием современных методов исследования вещества, воспроизводимостью полученных результатов, привлечением к интерпретации полученных данных современных представлений о закономерностях формирования карбонатных отложений и их вторичных изменений. Использованием штатного программного обеспечения в обработке результатов анализов.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на ежегодных итоговых конференциях КФУ (2012-2014), XI международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2013), Всероссийском литологическом совещании «Ленинградская школа литологии» (Санкт-Петербург, 2012), VII Всероссийском литологическом совещании (Новосибирск, 2013) и других семинарах, совещаниях и конференциях университетского, российского и международного уровней.

Результаты работы изложены в 4-х научно-технических отчетах.

Публикации. По результатам исследований имеется 17 публикации, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК для защиты диссертаций.

Личное участие автора. Автором самостоятельно исследовался керновый материал, выполнялись оптико-микроскопические, рентгенографические, термические анализы, проводилось обобщение полученных данных.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Материал изложен на 135 страницах, включает 26 рисунков и 9 таблиц. Список литературы, охватывая зарубежные публикации, содержит 221 наименование.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю, заведующему кафедрой минералогии и литологии КФУ д.г.-м.н., профессору В.П.Морозову, сотрудникам литологической лаборатории: Э.А.Королеву, А.Н.Кольчугину, Г.А.Кринари, Г.М.Ескиной. Выражает признательность А.И.Бахтину, А.А.Галееву, Н.М.Низамутдинову, Р.Х.Мусину, И.Н.Плотниковой, Н.М.Хасановой, Т.Н.Юсуповой, многим сотрудникам ИГиНГТ КФУ за ценные консультации и советы. Благодарен руководству и сотрудникам ЗАО «ТАТЕХ», ОАО «НИИ Нефтепромхим», ЗАО «Предприятие Кара Алтын» за предоставленный фактический материал.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «ВВЕДЕНИИ» описаны объект изучения, актуальность, цель, задачи, научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов диссертации, сведения об апробации работы, сформулированы защищаемые положения и кратко охарактеризована структура работы.

1. СТРАТИГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ И ТЕКТНИКА, ИЗУЧЕННОСТЬ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО КАРБОНА

Приводятся сведения о геологическом строении района исследований. Рассмотрены стратиграфия и литология нижнего и среднего отдела каменноугольной системы в составе турнейского, визейского и башкирского ярусов.

Изученные осадочные толщи представлены в различной степени измененными вторичными процессами известняками: литокластовыми (обломочными), строматолитовыми, оолитовыми, пелитоморфными (микритовыми), биокластово-зоогенными первого и второго типов, биокластово-фитогенными, а также вторичными плотными и пористыми доломитами.

Объекты исследования приурочены к западному склону Южно-Татарского свода и восточному борту Мелекесской впадины, входящие в состав Волго-Уральской антеклизы. Они относятся к тектоническим структурам II порядка, осложненным валообразными поднятиями (Войтович, Гатиятуллин, 2003). Рассмотрены этапы формирования основных тектонических структур.

Изучению карбонатных пород нижнего и среднего отделов каменно-угольной системы региона и сопредельных территорий посвящено большое число работ, выполненных сотрудниками ВНИГРИ, ВНИГНИ, ТатНИ-Пинефть, КФУ, МГУ, Нефтепромхим и других организаций.

Заслуживают пристального внимания работы и зарубежных исследователей. Среди них имеются крупные монографии по изучению, как вопросов седиментогенеза карбонатных толщ, так и их вторичных изменений (Carbonate Sedimentology ..., 1989; Tucker, Wright, 1990; Wright, 1993; Seibold, Berger, 1994; Zimmerle, 1995; Warren, 2000; Flügel, 2004 и др.).

Изложенный в главе материал дает характеристику карбонатных отложений, а также геологического строения изучаемого региона.

2. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Особенностью образования частиц карбонатов является преимущественно биогенный механизм извлечения зерен из водной среды. Значительно меньшую роль, как считается, играют биохемотропный и хемотропный механизмы (Селлвуд, 1990; Кузнецов, 2003; Атлас структурных ..., 2005).

Считается, что карбонатные отложения региона сформировались в пределах эпиконтинентальных морских бассейнов нижнего и среднего карбона Восточно-Европейской платформы. Весьма часто они являются полигенными и, соответственно, поликомпонентными образованиями.

Согласно многим работам (Осадочные бассейны ..., 2004; Япаскерт, 2005, 2013 и др.), среди литогенетических (постседиментационных) процессов следует различать два типа изменений: изменения региональные (фоновые), связанные с погружением осадочных толщ (диагенез, катагенез), и изменения вторичные, наложенные на литогенез погружения и реализующиеся локально.

Локально проявляющиеся вторичные изменения (наложенный тип литогенеза) в карбонатных отложениях могут приводить к весьма существенным изменениям минерального состава пород, их структуры и текстуры (Багринцева, 1977, 1999; Moore, 1989, 2001; Кузнецов, 1992; Diagenesis ..., 1992;

Lucia, 1999; Атлас структурных ..., 2005; Карбонатные породы ..., 2005 и др.). Основным фактором изменения здесь выступают мигрирующие флюиды, природа которых может быть элизионной, либо инфильтрационной (Карцев, Вагин и др., 1992; Махнач, 2000).

Среди многих классификаций карбонатных пород в работе принята одна из структурно-генетических классификаций, разработанная применительно к настоящим объектам исследования (табл. 1).

Таблица 1

Структурно-генетические типы известняков (Морозов, Королев и др., 2008)

Структурно-генетические типы известняков			Характеристика известняков		
			Форменные структурные компоненты известняков	Тип цементации форменных структурных компонент	Структура цемента для форменных компонент
Биокластовые	Биокластово-зоогенные	I тип	Гранулированные раковины фораминифер	Поровый	Микрит
		II тип	Биоморфные раковины фораминифер	Базальный	Спарит
	Биокластово-фитогенные		Преимущественно обломки водорослей	Базальный	Микрит
Оолитовые		I тип	Оолиты	Поровый	Микрит
		II тип	Оолиты	Базальный	Спарит
Литокластовые (обломочные)			Обломки – продукты разрушения других известняков.		
Пелитоморфные			Практически нацело состоят из микрита.		
Строматолитовые			Обладают неяснослоистой биогенной текстурой		

В главе рассматриваются способы и механизмы образования и преобразования карбонатных пород и их составных частей, а также ставятся некоторые не решенные вопросы о роли геодинамического и геофлюидного факторов в реализации тех или иных вторичных изменений.

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД И ИХ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ

Для исследования выбирался керновый материал, характеризующий карбонатные отложения турнейского, визейского и башкирского нефтегазовых комплексов, которые отличаются друг от друга по строению залежей. Выбирался такой керновый материал, который характеризовал изменение карбонатных пород по вертикали, изменение структуры их пустотного пространства, минерального состава, а также состава вмещаемых флюидов.

На первом этапе изучения кернового материала проводилось его стратиграфическое расчленение и привязка по глубине в соответствии с данными ГИС. Проводилось фотографирование и макроописание керна с целью литолого-петрофизического расчленения разрезов.

Компонентный состав и структура пород изучались оптико-микроскопическим методом. Минеральный состав карбонатных породы исследовался на порошковом рентгеновском дифрактометре.

Основные характеристики коллекторских свойств карбонатных пород и геохимические исследования вмещаемых ими флюидов были проведены в геохимической лаборатории кафедры геологии нефти и газа. Состав углеводородов, присутствующих в различных типах пустотного пространства пород, также определялся методом термического анализа.

Для выявления структуры пустотного пространства образцов помимо традиционных видов исследования был использован метод рентгеновской компьютерной томографии, позволивший оценить характер трехмерного распространения пустот и их морфологию.

С целью изучения кристаллохимических особенностей доломитов дополнительно использовались следующие виды анализов: рентгенофлуоресцентный, метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), метод сканирующей электронной микроскопии.

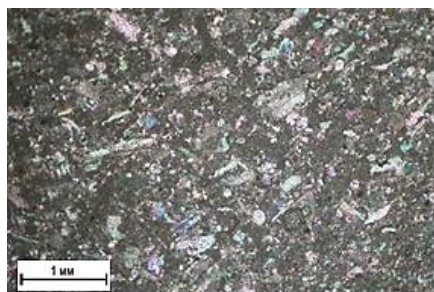
Комплексирование названных методов в изучении карбонатных пород и вмещаемых ими флюидов, на наш взгляд, оказалось удачным для достижения цели и задач работы.

4. МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ СТРУКТУР ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА ИЗВЕСТНЯКОВ И СОСТАВ ВМЕЩАЕМЫХ ИМИ ФЛЮИДОВ

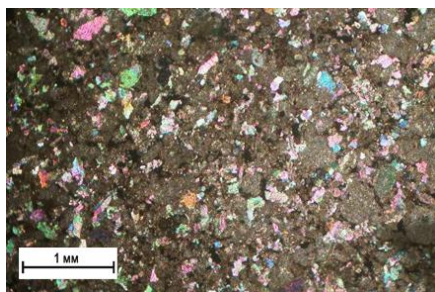
Под пустотным пространством, как принято большинством исследователей, понимается та часть объема горных пород, которая не заполнена минеральным веществом и может быть занята флюидом. Согласно работам К.И.Багринцевой (1977, 1982), в составе пустотного пространства карбонатных пород могут быть выделены: пористость (межзерновая пустотность), кавернозность (межагрегатная пустотность) и трещиноватость.

В изученных объектах поровый тип пустотности развит в известняках, в которых размер пустот меньше размера слагающих породу частиц (рис. 1а). Для изученных известняков, в которых велика доля микрита, размер пор составляет величины менее 0,01 мм и их часто считают субкапиллярными.

Пористость образуется при седиментогенезе карбонатов и существенно снижается при литогенезе погружения. В пределах изученных разрезов она обнаруживается во всех выявленных типах известняков, не подверженных вторичным изменениям.



а – поры в биокластово-фитогенном известняке



б – каверны селективного растворения (выщелачивания)



в – каверны неселективного выщелачивания, диаметр керна 10 см



г – трещинки растворения в плотном известняке



д – трещина тектонической разгрузки в нефтенасыщенном известняке

Рис. 1. Типы пустотного пространства известняков.

Значительно бóльший научный и практический интерес имеют кавернозность и трещиноватость, т.к. эти типы пустотности позволяют считать известняки породами-коллекторами.

Кавернозность в изученных разрезах встречается лишь в биокластово-зоогенных известняках первого типа и обнаруживается в двух видах.

Первый вид кавернозности формируется вследствие селективного растворения (выщелачивания). При этом каверны образуются в результате выщелачивания и перекристаллизации межформенного микрита, который цементирует в различной степени гранулированные органические остатки, представленные раковинами фораминифер. Размер каверн обычно меняется от 0,05 до 0,5 мм и меньше величины зоогенных органических остатков (рис. 1б). Данный вид пустотности отмечен в нефтяных, нефтяных частично разрушенных и водобитумных зонах залежей. Для обозначения данного вида пустотного пространства в работе принято название «селективная кавернозность».

Второй вид кавернозности наблюдается в тех же известняках с развитой селективной кавернозностью. Однако такие каверны сформированы в результате растворения как органических остатков, так и цементирующего их спарита. Размеры таких пустот в сечении могут варьировать в широких пределах и достигать 10 мм и более (рис. 1в). Форма каверн, по данным рентгеновской томографии, весьма разнообразна: от слабо удлинённых до вытянутых каналообразных. Пустотность данного вида отвечает использованному в работе термину «неселективная кавернозность» и имеет широкое развитие только в нефтяных частично разрушенных и водобитумных зонах залежей.

Трещинная пустотность, на наш взгляд, является по природе более сложной, более сложна́ она и по морфологии. Среди изученного кернового материала можно выделить два ее морфолого-генетических вида: первая образована трещинками растворения, вторая – трещинами тектонической разгрузки (растяжения).

Трещинки растворения отмечаются в основном в плотных нефтенасыщенных известняках, разделяющих нефтеносные пласты (рис. 1г). Их распределение по керну весьма неравномерно. Они, как правило, имеют субвертикальную ориентировку, нередко древовидны. Их раскрытость составляет до 1 мм.

Трещины тектонической разгрузки имеют субвертикальную пространственную ориентировку (рис. 1д). Их протяженность до нескольких десятков

сантиметров, а нередко и более 1 м. Преимущественно открытые, реже заполнены сульфатами – гипсом и ангидритом. Согласно данным С.Н.Чернышева (1983) и Т.В.Дорофеевой (1986), такие трещины следует называть трещинами тектонической разгрузки или трещинами растяжения.

Итогом проведенных работ может служить таблица 2, в которой приведены морфолого-генетическая классификация структур пустотного пространства карбонатных пород, их диагностические признаки, распространенность, происхождение и контролирующие факторы.

При изучении структуры пустотного пространства карбонатных пород пластовых и массивных литологически неоднородных нефтяных залежей была замечена определённая пространственная приуроченность выделенных типов и видов структур пустотного пространства.

В пластовых залежах турнейского яруса, согласно полученным данным, наблюдается следующее:

- селективная кавернозность распределена практически повсеместно;
- неселективная кавернозность присутствует лишь в водобитумной зоне, которая также нередко называется зоной водонефтяного контакта;
- трещинки растворения в керне изученных скважин не обнаружены;
- трещины тектонической разгрузки наблюдаются во всех участках разреза.

В массивных литологически неоднородных залежах, приуроченных к карбонатным породам башкирского яруса, наблюдается другой характер распространения выявленных типов структур пустотного пространства и большее их разнообразие:

- селективная кавернозность распространена довольно широко как в нефтяных, так и в частично разрушенных и водобитумных частях залежей;
- неселективная кавернозность обнаруживается лишь в нефтяных частично разрушенных и водобитумных частях залежей;
- трещинки растворения в керновом материале наблюдаются в плотных нефтенасыщенных породах, разделяющих нефтеносные участки залежей;
- трещины тектонической разгрузки наблюдались во всех участках разреза.

Установленные закономерности пространственного распределения выделенных типов структур пустотного пространства в отложениях турнейского и башкирского ярусов различны. На наш взгляд, они обусловлены различиями в литологическом составе отложений и неодинаковыми флюидо-

Таблица 2

Морфолого-генетическая классификация типов пустотного пространства известняков

Типы пустотного пространства		Диагностические признаки	Распространенность	Происхождение	Основные факторы, контролирующие их происхождение
Поры		Межзерновая пустотность. Размер пор составляет величины менее 0,01 мм	В известняках, не подверженных вторичным изменениям. Повсеместно	Образуются при седиментогенезе, диагенезе, катагенезе	Фоновый литогенез (седиментогенез-катагенез)
Каверны выщелачивания	Селективный вид	Межагрегатная пустотность. Размеры каверн меньше величины зоогенных органических остатков	Лишь в биокластово-зоогенных известняках первого типа в нефтяных и водобитумных зонах	Образуются в результате растворения и перекристаллизации микрита в биокластово-зоогенных известняках первого типа	Геофлюидный
	Неселективный вид	Межагрегатная пустотность. Размеры каверн существенно больше величины зоогенных органических остатков	Лишь в биокластово-зоогенных известняках первого типа в частично разрушенных и водобитумных зонах	Образуется в результате растворения микрита и органических остатков в биокластово-зоогенных известняках первого типа	Геофлюидный
Трещины	Растворения	Трещинки извилистой до древовидной формы	В плотных известняках, разделяющих породы-коллекторы	Образуются в результате растворения (флюидодинамические трещинки)	Геофлюидный
	Тектонической разгрузки	Имеют субвертикальную ориентировку. Нередко заполнены сульфатами	Повсеместно	Образуются за счет снятия тектонического напряжения	Геодинамический

упорными свойствами пород-покрышек нефтяных залежей.

Дальнейшим продолжением работ явилось изучение состава углеводородов в выявленных типах структур пустотного пространства, что позволило выявить определенные зависимости: «коллекторские свойства матрицы – состав нефти»; «глубина – состав нефти в матрице пород-коллекторов»; «структура пустотного пространства – состав нефти». Наиболее оптимальным методом исследования состава нефти оказался термический анализ, т.к. он требует весьма малых навесок образца, измеряемых десятками миллиграмм.

Первая зависимость свидетельствует о связи пористости и проницаемости карбонатных пород, с одной стороны, с составом вмещаемых углеводородов, с другой. Так, с увеличением коллекторских свойств матрицы пород в нефти снижается доля лёгких фракций углеводородов (рис. 2). Полученные зависимости обладают достаточно высокими коэффициентами достоверности для пластовых залежей турнейского яруса и весьма малыми для литологически неоднородных массивных нефтяных залежей башкирского яруса, т.к. в последних заполнение флюидами пустот происходило неоднократно, что приводило к изменению состава нефти.

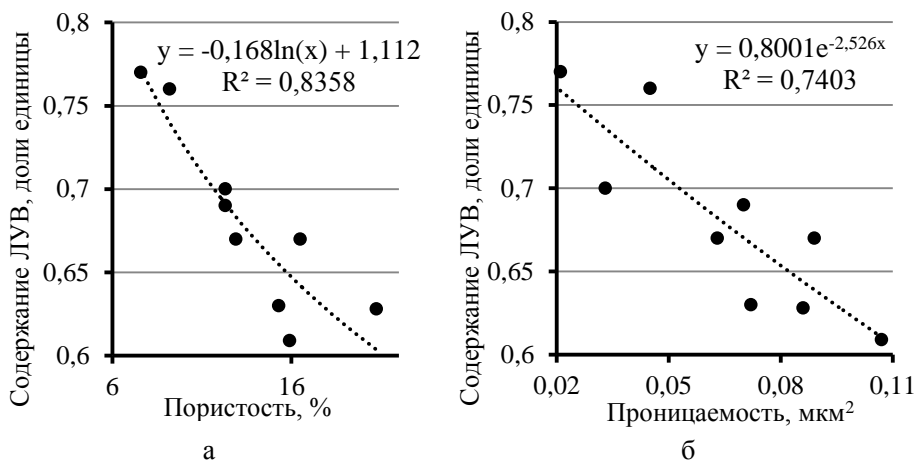


Рис. 2. Зависимости содержания легких углеводородов (ЛУВ) от значений пористости (а) и проницаемости (б) в карбонатных породах-коллекторах турнейского яруса.

Объяснение полученным данным может быть следующим. В карбонатных отложениях турнейского яруса признаки разрушения нефтяных за-

лежей проявлены значительно слабее, чем в отложениях башкирского яруса (Морозов, Васясин и др., 2009).

В ходе изучения второй зависимости «глубина – состав нефти в матрице пород-коллекторов» замечено, что при близких значениях пористости и проницаемости пород в коллекторах турнейского и башкирского ярусов наблюдаются существенные различия. В коллекторах кизеловского горизонта турнейского яруса каких-либо строгих зависимостей не выявлено (рис. 3а), тогда как в коллекторах башкирского яруса четко обнаруживается увеличение содержания тяжелых фракций углеводородов от кровли к подошве пласта (рис. 3б). Это также объясняется тем, что карбонатные породы-коллекторы кизеловского горизонта, образующие пластовые залежи, по литогенетическим критериям, не несут признаков разрушения. Тогда как в образованиях башкирского яруса, формирующих массивные литологически неоднородные нефтяные залежи, признаки разрушения в нижних частях залежей обнаруживаются явно.

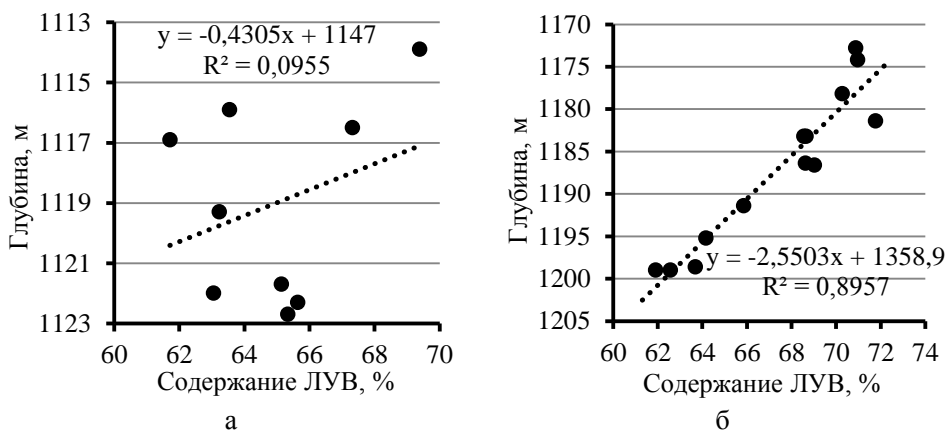


Рис. 3. Зависимости содержания доли легких углеводородов (ЛУВ) в нефтях от глубины в карбонатных породах-коллекторах кизеловского горизонта турнейского яруса (а) и башкирского яруса (б).

Помимо сказанного в карбонатных породах-коллекторах отмечаются и другие экспериментально выявленные связи. Данными термического анализа установлены факты различного состава углеводородов в кавернах разного размера и природы (селективная и неселективная кавернозность), трещинках растворения и трещинах тектонической разгрузки (таблица 3).

Таблица 3

**Сводная схема зональности разрезов
по типу пустотного пространства и фракционному составу углеводородов**

Зоны по содержанию флюида в пустотном пространстве	Состав УВ			
	Селективная кавернозность	Неселективная кавернозность	Трещинки растворения	Трещины тектонической разгрузки
Нефтяная	Присутствуют 70 / 30	Не обнаружены		Присутствуют 25 / 75
Плотные породы	Не обнаружены			Присутствуют 25 / 75
Нефтяная частично разрушенная (с признаками заводнения)	Присутствуют 60 / 40	Присутствуют 50 / 50	Присутствуют 50 / 50	Присутствуют 25 / 75
Плотные породы	Не обнаружены		Присутствуют 45 / 55	Присутствуют 25 / 75
Водобитумная	Присутствуют 55 / 45	Присутствуют 45 / 55	Присутствуют 45 / 55	Присутствуют 25 / 75

Примечание: цифрами показано соотношение легких и тяжелых углеводородов (%) по данным термического анализа.

В истории развития изучаемого региона можно выделить наиболее важные факторы, контролирующие возможности и механизмы развития пустотного пространства, литолого-петрофизическую неоднородность разрезов карбонатных пород и их флюидонасыщенность. К числу таких факторов относятся литолого-стратиграфический, геоструктурный, геодинамический и геофлюидный (Кольчугин, Морозов 2011). В работе более пристальное внимание уделено лишь двум последним, которые, на наш взгляд, имеют решающее влияние на формирование вторичной пустотности карбонатных пород.

В основу реконструкции палеоусловий формирования различных типов пустотного пространства карбонатных пород положена стадийность геодинамического и геофлюидного режимов развития региона (табл. 4).

Из таблицы следует, что поры формируются в стадию погружения дна осадочного бассейна и формируются при седиментогенезе и фоновом литогенезе.

Медленная стадия подъема при выходе осадочных толщ на поверхность приводит к реализации инфильтрационной геофлюидной стадии, что

Таблица 4

Схема синхронизации геодинамической и геофлюидной стадий
развития региона и формирование типов пустотного пространства
карбонатных пород-коллекторов

Геодинамическая стадийность	Геофлюидная стадийность	Типы структур пустотного пространства
1. Стадия погружения осадочного бассейна. <i>Седиментогенез, диагенез и катагенез.</i>	1.Элизионная стадия, связанная с отжимом из уплотняющихся осадочных толщ захороненных седиментогенных вод.	Поры
2. Стадия подъема. <i>2а. Режим медленного подъема.</i> <i>2б. Режим быстрого подъема, сопровождаемый динамотермальной активизацией.</i>	2.Инфильтрационная или элизионная в зависимости от режима подъема. <i>2а.Инфильтрационная, связанная с проникновением в вышедшие на дневную поверхность осадочные толщи атмосферных и/или поверхностных вод до уровня грунтовых вод или уровня затрудненного водообмена.</i> <i>2б.Элизионная стадия, связанная с отжимом петрогенных вод за счет дефлюидизации твердых компонентов осадочных толщ.</i>	В приповерхностной части при гипергенезе может формироваться карстовая пустотность. В глубинных частях – поры. Неселективная/ Селективная кавернозность. Трещинки растворения
3. Стадия относительного тектонического покоя	3. Инфильтрационная, связанная с проникновением в вышедшие на дневную поверхность осадочные толщи атмосферных и/или поверхностных вод до уровня грунтовых вод или уровня затрудненного водообмена, а также с глубинным проникновением грунтовых вод в зону затрудненного водообмена.	Трещины тектонической разгрузки.

связано с проникновением в верхнюю часть осадочных отложений атмосферных и/или поверхностных вод. Их проникновение, согласно положениям гидрогеологии, может осуществляться до уровня грунтовых вод или уровня затрудненного водообмена.

Режим быстрого подъема, сопровождаемый динамотермальной активизацией, приводит к реализации элизионной стадии, причиной проявления которой является дефлюидизация пород. При этом осадочные толщи испытывают тектоническое и тепловое воздействие (Багдасарова, 2001; Осадочные бассейны ..., 2004), в результате чего флюиды мигрируют и вкrest простирания пластов через купольные части поднятий (Чахмахчев, 1983). Освобождающиеся при этом флюиды, согласно (Файф, Прайс и др., 1981; Basin analysis ..., 1994), мигрируют в направлении меньшего гидростатического давления. При этом мигрирующие через породы флюиды не находятся в химическом равновесии с ними, что вызывает определенные вторичные изменения. В нашем случае к ним относится образование селективной и неселективной кавернозности, а также трещинок растворения.

В случае, когда стадия подъема дна осадочных бассейнов заканчивается стадией относительного тектонического покоя, инфильтрационная стадия проявляется в проникновении в вышедшие на дневную поверхность осадочные толщи атмосферных и/или поверхностных вод до уровня грунтовых вод или уровня затрудненного водообмена. Если стадия относительного тектонического покоя проявляется после динамотермальной активизации, инфильтрационная стадия связана также с глубинным проникновением грунтовых вод в зону затрудненного водообмена по сформированной системе трещиноватости. Образование последней может быть обусловлено остыванием пород и повышением их хрупкости.

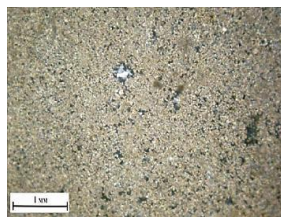
В главе приводятся результаты исследования, расширяющие представления о типизации и формировании пустотного пространства карбонатных пород и их флюидонасыщенности. Материал главы обосновывает первое и второе защищаемые положения работы.

5. ВТОРИЧНЫЕ ДОЛОМИТЫ, СТРУКТУРА ИХ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА, ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ

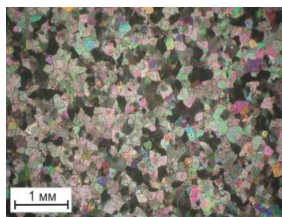
В работе изучены следующие типы доломитов: седиментационно-диагенетические и вторичные наложенной природы. Происхождение вторичных как плотных, так и пористых доломитов связывают с метасоматической доломитизацией известняков, которой, согласно (Morrow, 1982), спо-

собствуют повышенные в среде концентрации ионов магния, углекислоты и соленость.

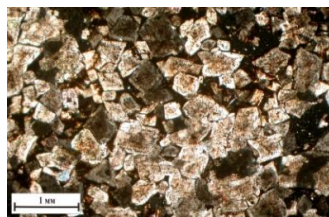
Названные типы доломитов различаются как по морфологии слагающих их зерен (рис. 4), так и по кристаллохимическим особенностям, которые были определены экспериментально.



*седиментационно-
диагенетический*



*плотный
вторичные доломиты наложенной природы*



пористый

Рис. 4. Фотографии шлифов седиментационно-диагенетического и вторичных доломитов. Николи скрещены.

Вторичные доломиты отличаются от седиментационно-диагенетических большими размерами зерен и большими величинами областей когерентного рассеяния, что, на наш взгляд, объясняется меньшей скоростью роста зерен вторичных доломитов.

Установлено наличие в седиментационно-диагенетических доломитах радикалов $[\text{SO}_2]^-$ и $[\text{SO}_3]^-$ и их отсутствие во вторичных. Данные можно объяснить присутствием в бассейне седиментации ионов $[\text{SO}_4]^{2-}$, тогда как в среде образования вторичных доломитов эти анионы практически отсутствовали или их концентрации были весьма малы. Поэтому они не входили в структуру вторичных доломитов или входили в столь малых количествах, которое не фиксируется даже столь чувствительным методом, как ЭПР.

Обнаружена также высокая степень стехиометричности седиментационно-диагенетических доломитов по сравнению со вторичными. Это можно объяснить присутствием в среде формирования первых ионов кальция и магния в концентрациях, достаточных для формирования доломитов состава $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Тогда как в минералообразующем растворе, из которого происходила кристаллизация вторичных доломитов, наблюдался дефицит ионов магния, место которого в структуре занимали другие ионы. Об этом же свидетельствует и данные ЭПР, показывающие предпочтительное вхождение ионов марганца в позицию магния, а не кальция.

Исследования, направленные на изучение плотных и пористых вторичных доломитов, также позволили выявить их различия.

Оптико-микроскопические исследования показали, что плотные доломиты характеризуются конформной структурой, тогда как пористым образованиям присуща неконформная структура; зёрна в плотных доломитах ксеноморфны, а в пористых – гипидиоморфны и идиоморфны;

Рентгенографические исследования показали:

- в тульском горизонте визейского яруса в доломитах обнаруживается изоморфизм $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Fe}$, причем в плотных доломитах он менее значим, чем в пористых; кристаллохимическая формула первых наиболее полно соответствует $\text{Ca}(\text{Mg}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})(\text{CO}_3)_2$, а вторых – $\text{Ca}(\text{Mg}_{0,86}\text{Fe}_{0,14})(\text{CO}_3)_2$;

- в турнейском ярусе в доломитах обнаруживается другой изоморфизм – $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Ca}$, также менее значимый в плотных доломитах, чем в пористых; кристаллохимическая формула первых соответствует $\text{Ca}(\text{Mg}_{0,92}\text{Ca}_{0,08})(\text{CO}_3)_2$, а вторых – $\text{Ca}(\text{Mg}_{0,87}\text{Ca}_{0,13})(\text{CO}_3)_2$;

- данные расчета дифракционных максимумов тех и других также показывают, что размер областей когерентного рассеяния плотных доломитов меньше, чем пористых – 40-60 нм и 60-85 нм, соответственно.

Данные термического и рентгенофлюоресцентного анализов подтверждают результаты, полученные рентгенографическим анализом.

Электронно-микроскопическое изучение доломитов показало, что в образцах пористых доломитов тульского горизонта визейского яруса обнаруживается зональность в распределении железа, максимальные концентрации которого наблюдаются в периферийных частях идиоморфных зерен.

Объяснение вышеизложенным фактам дается с позиций метасоматического преобразования кальцита в доломит, благодаря привносу-выносу компонент. Согласно экспериментально полученным данным, можно предположить, что плотные доломиты формируются в условиях достаточной концентрации ионов магния для полного заполнения пространства зернами этого минерала, тогда как в условиях их недостатка в среде зерна вторичных доломитов должны заполнять пространство не полностью. В этом случае в структуре доломита должен наблюдаться относительный «дефицит» ионов магния и тогда «его место» должен занять какой-либо другой химический элемент, изоморфный ему, согласно закономерностям компенсационного изоморфизма (Щербина, 1972; Винокуров, 1997).

Принимая во внимание, что рост зерен пористых и плотных доломитов осуществлялся в различных условиях и приводил к различным результатам, можно также говорить о том, что при формировании плотных доломитов процессы кристаллизации доломита доминировали над процессами рас-

творения кальцита. Тогда как, при формировании пористых доломитов преобладали процессы выноса растворенных компонент над процессами привноса компонент. Поэтому баланс привноса-выноса компонент и определяет в конечном итоге формирование как пористых, так и плотных вторичных доломитов.

Из сказанного следует, что механизмы формирования плотных и пористых доломитов как в отложениях тульского горизонта визейского яруса, так и в отложениях турнейского яруса одинаковы. Однако во вторичных доломитах тульского яруса наблюдается изоморфизм ионов магния и железа, тогда как в доломитах турнейского яруса – изоморфизм ионов магния и кальция. Это может быть обусловлено различным составом флюидов, приводящим к доломитизации известняков. Такие флюиды имеют элизионную природу и относятся к восходящим (Карцев, Вагин и др., 1992; Махнач, 2000). К тому же в путях миграции они могут обогащаться компонентами любых пород.

В растворах вызывающих доломитизацию известняков тульского горизонта должны присутствовать ионы двухвалентного железа, мигрирующие из терригенных пород нижней части визейского яруса. Тогда как растворы, вызывающие доломитизацию известняков турнейского яруса, мигрировали через нижележащую мощную толщу карбонатных отложений, и поэтому, на наш взгляд, в них не должно наблюдаться сколь-либо существенных концентраций ионов железа.

В главе показаны экспериментально выявленные кристаллохимические различия и механизмы формирования различных по природе и морфологии типов доломитов. Изложенный материал служит обоснованием третьего защищаемого положения работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведена морфолого-генетическая типизация структур пустотного пространства карбонатных пород изучаемого региона – поры, каверны селективного и неселективного растворения, трещинки растворения и трещины тектонической разгрузки. Показаны их диагностические признаки, распространенность и пространственная приуроченность к определенным зонам пластовых и литологически неоднородных массивных нефтяных залежей в разрезах турнейского и башкирского ярусов. Выявлены факторы формирования пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов – геофлюидный и геодинамический.

В результате проведенных исследований установлены следующие зависимости «коллекторские свойства матрицы – состав нефти» в породах-коллекторах, «глубина – состав нефти в матрице пород-коллекторов», а также установлена связь между составом нефти и структурой пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов. Зависимости справедливы для всех изученных карбонатных залежей, расположенных на территории западного склона Южно-Татарского свода и восточного борта Мелекесской впадины.

Установлены кристаллохимические отличия вторичных доломитов наложенной природы от седиментационно-диагенетических. Экспериментально полученные данные по изучению плотных и пористых доломитов тульского горизонта визейского яруса и турнейского яруса указывают, что они не стехиометричны. Для доломитов тульского горизонта характерно изоморфное замещение ионов магния ионами двухвалентного железа, а для доломитов турнейского яруса – изоморфное замещение ионов магния на ионы кальция. Это свидетельствует о том, что формирование вторичных доломитов реализовалось в условиях дефицита ионов магния, а наиболее явно это проявилось при формировании доломитов с неконформной структурой – пористых доломитов.

Также установлено, что механизмы образования плотных и пористых доломитов как турнейского яруса, так и тульского горизонта визейского яруса одинаковы. Выявлено, что для формирования пористых доломитов преобладают процессы выноса растворенных компонент, а при образовании плотных доломитов процессы привноса компонент.

Сказанное, на наш взгляд, расширяет существующие представления о механизмах формирования вторичных доломитов, как горных пород, их кристаллохимических особенностях, а также закономерностях формирования пористых и плотных разновидностей, что можно считать важным вкладом в существующие представления о вторичных процессах наложенной природы.

Полученные данные о процессах формирования карбонатных пород, структур их пустотного пространства и флюидонасыщенности могут быть использованы при оптимизации технологических схем разработки нефтяных залежей.

Основные работы по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Морозов В.П Морфолого-генетическая классификация пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов / В.П.Морозов,

И.Н.Плотникова, Р.Х.Закиров, А.Н.Кольчугин, А.В.Кальчева, Э.А.Королёв, **А.А.Ескин** // Георесурсы, 2012. – №4(46). – С. 19-21.

2. Бахтин А.И. Геохимические особенности осаждения и устойчивости сульфатов кальция в природе / А.И.Бахтин, А.Н.Кольчугин, **А.А.Ескин** // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. естеств. науки, 2012. – Т.154, кн.4. – С. 55–60.

3. Королёв Э.А. Зависимость состава и подвижности нефти в карбонатных породах от их пористости и проницаемости / Э.А.Королёв, **А.А.Ескин**, В.П.Морозов, А.Н.Кольчугин, И.Н.Плотникова, Н.В.Пронин, Ф.Ф.Носова // Нефтяное хозяйство, 2013. – №6. – С. 32-33.

4. Кольчугин А.Н. Типовые разрезы карбонатных пород башкирского яруса юго-востока Республики Татарстан и строение залежей нефти / А.Н.Кольчугин, В.П.Морозов, Э.А.Королёв, **А.А.Ескин**, Ф.М.Газеева // Нефтяное хозяйство, 2013. – №11. – С. 84-86.

Публикации в материалах конференций и совещаний

5. **Ескин А.А.** Структура пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов и состав углеводородов / А.А.Ескин // Материалы XIII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. – Саратов: Издательский Центр «Наука», 2012. – С. 46-47.

6. Морозов В.П. Морфолого-генетическая классификация структур пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов / В.П.Морозов, **А.А.Ескин**, А.Н.Кольчугин, Э.А.Королёв // Материалы Всероссийского литологического совещания. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2012. – Т.П. – С. 169-171.

7. **Ескин А.А.** Связь состава углеводородов и структуры пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов башкирского яруса юго-востока Республики Татарстан / А.А.Ескин // Материалы XI Международной научной конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М.: Ваш полиграфический партнер, 2013. – Т.І. – С. 113-115.

8. Морозов В.П. Роль геодинамического и геофлюидного режимов в формировании структуры пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов / В.П.Морозов, **А.А.Ескин**, А.Н.Кольчугин, Э.А.Королёв // Материалы XI Международной научной конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М.: Ваш полиграфический партнер, 2013. – Т.І. – С. 141.

9. **Ескин А.А.** Кристаллохимические особенности вторичных доломитов и закономерности их формирования / А.А.Ескин, В.П.Морозов, Э.А.Королёв, А.Н.Кольчугин // Материалы VII Всероссийского литологического совещания. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. – Т.І. – С. 301-304.